

## РАСЧЕТ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЯ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Белоус А.Н., группа НАП-01

Руководитель доц. каф. ЭТ Амиров Р.З.

Современные компактные теплообменники характеризуются узкими каналами для прохода теплоносителя и высокими тепловыми потоками, поэтому более чувствительны к воздействию коррозии и образованию накипи. Оксиды железа могут образовываться в результате коррозии повсеместно: внутренняя коррозия стальных радиаторов, чугунных или стальных котлов нередко приводит к накоплению железистоокисного шлама в нижней части радиаторов, а также в вентилях, клапанах и насосах. Это не только уменьшает теплоотдачу отопительных приборов, но и создает препятствия для водного потока в системе, из-за чего падает ее КПД и утрачиваются преимущества, связанные с использованием регулирующих устройств. Поэтому водоподготовка является неотъемлемой частью современной теплотехнической системы. Водоподготовка — физико-химическая обработка воды, исключая или существенно снижающая накипобразование и коррозию теплотехнического оборудования. Любой технологический процесс водоподготовки представляет собой воздействие на подпиточную или сетевую воду, приводящее к целенаправленному изменению объективных физических и химических свойств воды [1].

Особое значение для систем отопления, как было сказано ранее, имеет использование питающей воды соответствующего качества. Как правило, используется вода централизованных систем питьевого водоснабжения, качество которой регламентируется СанПиН 2.1.4.559.Питьевая вода., ГОСТ 2874.82 Вода питьевая [4] (табл. 1).

Таблица 1 — Нормируемые показатели воды

Показатель	СанПиН 2.1.4.559. Питьевая вода	ГОСТ 2874.82 Вода питьевая	Руководство ВОЗ
Усредненные показатели			
рН	6,0–9,0	6,0–9,0	6,5–8,5
Сухой остаток мг/л	1000	1000	
Жесткость общая, мг-экв/л	7	7	10
Химический состав			
Железо общее, мг/л	0,3	0,3	
Марганец, мг/л	0,1	0,1	0,1
Хлориды, мг/л	350	350	250
Сульфаты, мг/л	500	500	400
Фтор, мг/л	1,5	1,5	1,5
Нитраты, мг/л	45	45	45

На основании данных о жесткости воды систем отопления можно судить, необходима ли предварительная водоподготовка и в каком объеме.

**Постановка задачи.** В настоящее время жесткость воды систем водоотопления измеряют химическим методом на основании раствора трилона Б [6]. Данный метод измерения имеет ряд определенных недостатков. Предварительный отбор проб, проведение химического анализа не обеспечивают работу в режиме реального масштаба времени; хранение и обработка результатов требует значительных как трудовых так и временных затрат. Предлагается метод определения жесткости воды основанный на измерении удельной электропроводности жидкости. Данный метод существенно снижает затраты рабочего времени на проведение анализа, позволяет в некоторой степени автоматизировать процесс получения результатов и их обработки на электронно-вычислительной машине.

Объем контроля жесткости воды систем отопления предполагает измерение этого показателя в нескольких контрольных точках: на входе в систему отопления, в линии подпитки, на выходе из системы. Определение жесткости воды будем осуществляться путем измерения удельной электропроводности теплоносителя.

С целью контроля жесткости воды необходима установка кондуктометрических датчиков удельной электропроводности в контрольных точках.

Гидравлическая схема типичной системы отопления с указанием точек установки датчиков представлена на рис. 1.

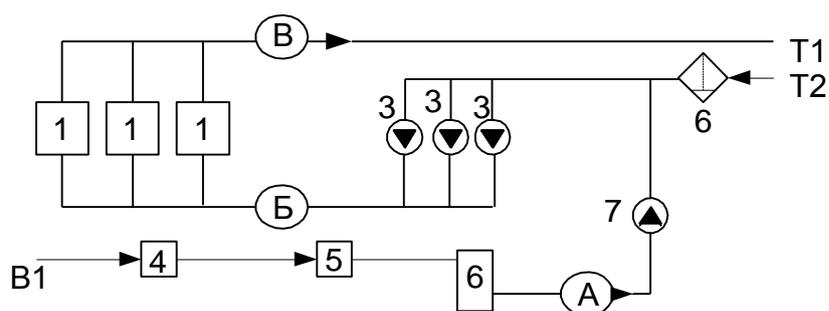


Рисунок 1 — Гидравлическая схема системы отопления

Здесь: 1 — котлы; 3 — сетевые насосы; 4 — узел учета подпиточной воды; 5 — устройство дозирования комплексонных веществ; 6 — резервуар запаса подпиточной воды; 7 — подпиточный насос. А — точка отбора подпиточной воды; Б — точка отбора пробы сетевой воды; В — точка отбора пробы сетевой воды. Т1 — прямой трубопровод сети; Т2 — обратный трубопровод теплосети.

Четырехэлектродный датчик удельной электропроводности выполнен в форме цилиндра с керамики с маленьким температурным коэффициентом расширения, электроды нанесены в виде тонких металлических полосок. Внешний вид датчика представлен на рис. 2.

Два электрода такого датчика подключаются к источнику переменного напряжения, а с двух других снимаются значения разности потенциалов, пропорциональные электропроводности воды.

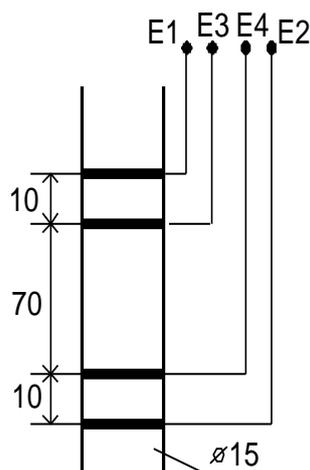


Рисунок 2 — Датчик удельной электропроводности

Точное измерение падения напряжения между электродами E3 и E4 возможно при выполнении трех условий:

1. ток через измерительную ячейку должен быть стабильным;
2. ток через измерительную ячейку не должен создавать значительного теплового эффекта;
3. измерительный прибор, который подключается к электродам E3 E4, не должен потреблять ток, то есть электроды E3 и E4 не должны поляризоваться.

При протекании тока  $I$  в жидкости индуцируется электрическое поле в области ячейки между электродами 3 и 4 создается падение напряжения, которое можно представить источником переменной Э.Д.С.  $U_p$  с внутренним сопротивлением  $R_{34}$ . Измерительная цепь, представленная эквивалентной схемой на рис. 3 [4].

С учетом малых размеров внутренних электродов можно считать несущественным искривление однородного электрического поля ячейки. В таком случае напряжение на выходе измерительного устройства  $U_e$  без учета сопротивлений емкостей разделительных конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ :

$$U_e = \frac{U_p R_e}{R_{34} + R_e + r_3 + r_4} = \frac{U R_{34} R_e}{R_i (R_{34} + R_e) \left( 1 + \frac{r_3 + r_4}{R_{34} + R_e} \right)}$$

где  $r_3$  и  $r_4$  — эквивалентные опоры двойных электрических слоев на электродах 3 и 4.

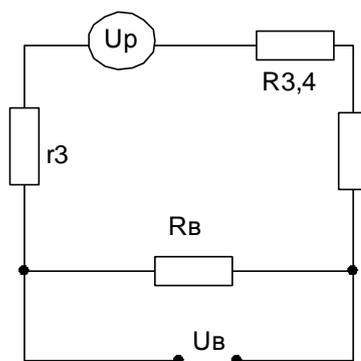


Рисунок 3 — Эквивалентная схема измерительного цепи четырехэлектродного преобразователя

Поскольку  $(r_3+r_4) \ll (R_{34}+R_B)$ , то

$$U_{\epsilon} = \frac{UR_{34}R_{\epsilon}}{R_i(R_{34} + R_{\epsilon})}.$$

При большом входном сопротивлении измерительного канала

$$U_{\epsilon} = U \frac{R_{34}}{R_i}.$$

Погрешность проектируемого прибора можно оценить по следующей формуле:

$$\sigma_{ПП} = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_{НД}^2 + \sigma_{АЦП}^2 + \sigma_{ЦО}^2 + \sigma_M^2},$$

где:

$\sigma_{ПП}$  — относительная погрешность всего прибора;

$\sigma_D$  — погрешность датчика удельной электропроводности;

$\sigma_{НД}$  — погрешность нормирующего преобразователя;

$\sigma_{АЦП}$  — погрешность аналого-цифрового преобразования сигнала датчика;

$\sigma_{ЦО}$  — погрешность цифровой обработки;

$\sigma_M$  — методическая погрешность;

Кондуктометрический метод измерения удельной электропроводности воды с использованием 4-электродных ячеек в значительной степени по сравнению с другими методами (емкостным, индуктивным) снижает

погрешности, обусловленные наличием двойных электрических слоев на границе электрод- анализируемая жидкость, а также погрешности эффекта поляризации (увеличение разности потенциалов между измерительными электродами вследствие переориентации ионов воды в пространстве ).

Погрешность датчика удельной электропроводности  $\sigma_D$  не превышает 0,5%.

Погрешность аналого-цифрового преобразования сигнала датчика определяется разрядностью аналого-цифрового преобразователя. При  $n=10$  погрешность, вносимая аналого-цифровым преобразователем, составит 0.1%

Погрешность цифровой обработки сигнала на уровне 0,5%, т.е.  $\sigma_{ЦО}=0,5\%$

Оценим погрешность всего прибора:

$$\sigma_{IP} = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_{HD}^2 + \sigma_{АЦП}^2 + \sigma_{ЦО}^2 + \sigma_M^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,1^2 + 0,5^2 + 0,3^2} \approx 0,8\% .$$

#### Перечень ссылок

1. Ф.Ф.Чаусов Химический контроль комплексной водоподготовки.// Сантехника. — 2004. — №9.
2. Водоподготовка для систем отопления и кондиционирования. // Сантехника, АВОКПресс. — 2003. — № 4. — С. 11–15.
3. Bennett P. Voffardi. Водоподготовка для систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и холодильных установок // Журн. По отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной физике (АВОК). — 1999. — № 6. — С. 40–51.
4. Водоподготовка — Нормативы качества воды (предельно-допустимые уровни содержания веществ).
5. Зорі А.А., Коренєв В.Д., Хламов М.Г. Методи, засоби, системи вимірювання і контролю параметрів водних середовищ. — Донецьк: РВА ДонНТУ, 2000. — С. 110–123.
6. Измерения в промышленности: Справочник/ Под ред. Профоса. — М.: 1990.
7. Калашников В.И. Информационно-измерительная техника и технологии. — 2002.